



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Pat ntschrift
⑩ DE 44 36 156 C 1

⑤1 Int. Cl.⁸:
F 16 C 32/06
B 23 K 28/00

②1 Aktenzeichen: P 44 36 156.4-12
②2 Anmeldetag: 10. 10. 94
④3 Offenlegungstag: —
④5 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 21. 3. 98

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:

Heinzi, Joachim, Prof. Dr.-Ing., 81549 München, DE;
Muth, Michael, Dipl.-Ing., 81737 München, DE;
Schulz, Bernd, Dipl.-Ing., 81547 München, DE

⑦2 Erfinder:

gleich Patentinhaber

⑥8 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 34 39 648 C2
DE 32 30 232 C2
DE 30 01 081 C2
US 51 10 520
US 38 00 046
EP 02 37 627 A2

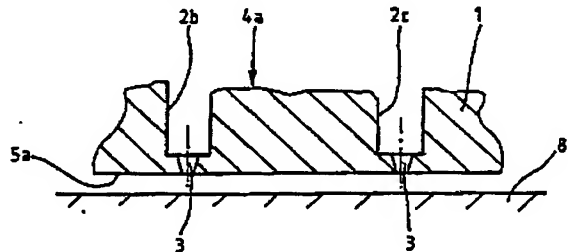
George CHRYSSOLOURIS, Laser Machining, Theory
and Practice, Springer Verlag, New York, 1991,
S.208,230;

H.C. ROTHE, »External pressurized gas bearings« in:
Mechanical Engineering, Juni 1981 S.45-48;

Yukitaka NAGANO, »Laser Drilling« in:
Technocrat 1978, S.115-119;

⑤4 Aerostatisches Lager und Verfahren zur Herstellung eines aerostatischen Lagers

⑤7 Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird der Lagerkörper (1) in bestimmten Bereichen mit einer derart dünnen Materialstärke ausgeführt, daß in die Lagerfläche (5a) von der Rückseite (4a) aus mehrere flächig verteilt angeordnete Mikrolöcher (3) mittels eines Laserstrahls gebohrt werden können. Die Löcher (3) können durch eine gezielte Energiezufuhr des Laserstrahls an der Lagerfläche (5a) gratfrei gebohrt werden, so daß diese nicht mehr nachbearbeitet werden muß. Die kegelförmig geformten Mikrolöcher (3) mit ihrem engsten Querschnitt an der Lagerfläche (5a) bilden die Düsen eines aerostatischen Lagers (Figur 2).



DE 44 36 156 C 1

DE 44 36 156 C 1

Bei aerostatischen Lagern wird Luft mit Hilfe einer externen Druckluftquelle über eine oder mehrere Drosselstellen (Düsen) in den Lagerspalt zwischen den beiden Lagerflächen gedrückt. Auf diese Weise wird ein Luftpolster geschaffen, in dem ein so hoher Luftdruck herrscht, daß eine Last von diesem getragen werden kann. Der Druck fällt im Lagerspalt vom Düsendruck p_i am Düsenrand zum Umgebungsdruck p_a am Lagerrand rasch ab. Deshalb muß zur Erhöhung der Tragfähigkeit die Anzahl der Düsen vergrößert werden. Dem steht jedoch eine wirtschaftliche Fertigung im Wege. Abhilfe schaffen Kammern und Kanäle um die einzelnen Düsen, die zur Verteilung der Luft im Lagerspalt und damit zur Erhöhung der Tragkraft dienen; sie sind nach strömungstechnischen Gesichtspunkten dimensioniert. Von Nachteil ist das sogenannte Totvolumen dieser Kammern und Kanäle, das die Neigung der Lager zu selbst-erregten Schwingungen erhöht.

Sehr viele einzelne Mikrodüsen besitzen sogenannte poröse Lager, bei denen das Lagermaterial porös und damit für Luft durchlässig ist. Im allgemeinen sind diese luftdurchlässigen Stellen gleichmäßig über die Lagerfläche verteilt, so daß man ein einheitliches Druckprofil über den gesamten Lagerspalt erhält und damit eine hohe Tragkraft. Liegt bei diesen Lagern der engste Querschnitt der Mikrodüsen nicht unmittelbar in der Lagerfläche, so erhält man wie bei Düsenlagern mit Kammern und Kanälen ein für den dynamischen Betrieb ungünstiges Totvolumen.

Aus diesem Grund wurden Verfahren entwickelt, bei denen das poröse Material an der Lagerfläche bis in eine gewisse Schichttiefe entweder gezielt verdichtet wird (DE 34 39 648 C2) oder aber vollständig verschlossen wird (DE 32 30 232 C2), um diese Schicht anschließend wieder definiert zu öffnen. Die erforderlichen Prozesse sind insgesamt gesehen schwer zu beherrschen, insbesondere, wenn bestimmte Strömungswiderstände der Drosselschicht eingestellt werden sollen und zugleich eine gleichmäßige Verteilung der Drosselstellen über der Lagerfläche erreicht werden soll.

Ein verdichtetes poröses Lager, bei dem die verdichtete Schicht mittels eines Lasers wieder partiell geöffnet wird, ist aus der EP 0 237 627 A2 bekannt. Diese Öffnung erfolgt von der Lagerspaltseite her, was strömungstechnische Nachteile zur Folge hat.

Die Metallbearbeitung mittels eines Lasers ist in vielen Literaturstellen beschrieben. Das Laserbohren ist beispielsweise in dem Artikel "Laser Drilling" von Yuktaka Nagano in der Zeitschrift Technocrat 1978, Seiten 115 bis 119 beschrieben. In dem Buch von George Chrystolouris "Laser Machining" ist auf Seite 209 als Anwendungsbeispiel für das Laserbohren die Erzeugung von "aerosol nozzles" angeführt. "Aerosol nozzles" sind keine Düsen für Luftlager, bei denen strömungstechnische Besonderheiten zu beachten sind.

Weitere Luftlager sind in der US 3,600,046 A und der DE 30 01 061 C2 beschrieben. Die Düsen sind kegelförmig ausgebildet dargestellt. Bei der DE 30 01 061 C2 sind auf der Seite des Lagerspaltes Nuten vorgesehen, welche das dynamische Verhalten des Luftlagers nachteilig beeinflussen.

In der Zeitschrift "Mechanical Engineering", Juni 1961, Seiten 45 bis 48 ist ein Luftlager angegeben, von dem diese Erfindung ausgeht. Der Bereich um die Mikrolöcher ist als Folie ausgebildet, in die das Mikroloch mittels einer Nadel mechanisch eingebracht wurde.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, mit einem geringen fertigungstechnischen Aufwand ein aerostatisches Lager zu schaffen, das gute statische sowie dynamische Eigenschaften aufweist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch Anspruch 1 gelöst.

Die Vorteile der Erfindung bestehen darin, daß die Anzahl der Düsen in der Lagerfläche so groß ausgeführt werden kann, daß die guten statischen Eigenschaften eines aerostatischen Lagers aus porösem Werkstoff näherungsweise erreicht werden. Weiterhin können die guten dynamischen Eigenschaften eines oberflächenverdichteten porösen Lagers dadurch erreicht werden, daß sich der engste Querschnitt der Düsen unmittelbar an der Lagerfläche befindet. Gemäß der Erfindung werden also mit einem geringen fertigungstechnischen Aufwand die Vorteile der verschiedenen aerostatischen Lagertypen nutzbar.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß das Bohren der Düsen mittels eines Lasers auch bei ungünstigen geometrischen Verhältnissen, wie z. B. bei Zylinderlagern mit kleinem Durchmesser möglich ist.

Weitere Vorteile der Erfindung bestehen darin, daß durch die gezielte Materialschwächung im Bereich der Düsen die Herstellung der Düsen mittels eines Lasers durchgeführt werden kann, bei dem sich durch die Steuerung des Laserstrahls beim Bohren der Löcher auf einfache Weise die Strömungswiderstände in der Lagerfläche mit einer hohen Reproduzierbarkeit einstellen lassen. Dadurch kann der Luftverbrauch einer Einzeldüse so niedrig gehalten werden, daß eine große Anzahl Düsen für eine hohe statische Tragkraft eingebracht werden kann, ohne daß der Gesamluftverbrauch der Lager derart hoch ausfällt, daß ein wirtschaftlicher Betrieb aufgrund der Betriebskosten nicht mehr möglich ist. Weiterhin kann durch die Bearbeitungsrichtung, nämlich von der Lagerrückseite her, und eine gezielte Energiezufuhr durch den Laserstrahl erreicht werden, daß die Düsen unmittelbar an der Lagerfläche ihren engsten Querschnitt besitzen und an der Lagerseite gratfrei sind, so daß eine Nachbearbeitung der Lagerfläche zur Einhaltung der Form- und Oberflächentoleranzen entfallen kann.

Durch die Bearbeitung mittels Laser lassen sich nahezu beliebige Verteilungen der Düsen in der Lagerfläche erreichen, um die Lager an bestimmte Belastungsfälle anpassen zu können.

Die vorgeschlagenen Verfahren ermöglichen eine automatisierte Fertigung. Die Produktionskosten können so niedrig gehalten werden, daß der Einsatz für Großserien möglich wird.

Vorteilhafte Ausbildungen der Erfindung entnimmt man den Unteransprüchen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Es zeigt

Fig. 1 ein erfindungsgemäß ausgestaltetes aerostatisches Lager,

Fig. 2 einen Ausschnitt aus Fig. 1,

Fig. 3 eine der in Fig. 2 dargestellten Düse im Detail und

Fig. 4 einen Ausschnitt eines weiteren aerostatischen Lagers.

Das aerostatische Lager gemäß Fig. 1 ist ein kombiniertes Axial- und Radiallager. Der Lagerkörper 1 weist eine axiale Ringnut 2a sowie zwei radiale Nuten 2b, 2c auf, durch die eine gezielte Verringerung der Materialstärke im Bereich der Löcher 3 — welche die Düsen

bilden — erreicht wird. In diese gezielt geschwächten Bereiche werden die kegelig geformten Löcher 3 am Umfang verteilt mit einem Laser von der Lagerrückseite 4a, 4b in die Lagerflächen 5a, 5b gebohrt. Der Lagerkörper 1 sitzt in einem Ring 6, mit einer Zuführöffnung 7, über die die Luftzufuhr erfolgt. Die Welle 8 wird somit von einer axial und zwei radial angeordneten Lochreihen auf Luftpolstern getragen.

Der in Fig. 2 dargestellte Ausschnitt zweier Löcher 3 zeigt, daß in die Lagerfläche 5b von der Rückseite 4a aus mehrere flächig verteilt angeordnete Löcher 3 durch eine gezielte Energiezufuhr des Laserstrahls gratfrei gebohrt werden können, so daß diese nicht mehr nachbearbeitet werden muß. Die Löcher 3 sind kegelig geformte Mikrolöcher, die mit ihrem engsten Querschnitt an der Lagerfläche 5a die Düsen des aerostatischen Lagers bilden.

In Fig. 3 ist eine vorteilhafte Ausgestaltung eines Loches 3 im Detail dargestellt. Die Energiezufuhr des Laserstrahls ist dabei derart gesteuert, daß am Locheintritt 3a, also auf der Lagerrückseite 4a ein hoher Grat 3b zur Verlängerung der Drosselstelle und damit zur Verringerung von Strömungsturbulenzen entsteht und am Lochaustritt 3c, also an der Lagerfläche 5a ein Grat zur Vermeidung einer Nachbearbeitung verhindert wird.

In Fig. 4 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung dargestellt. Der Lagerkörper 1 weist ebenfalls im Bereich der Löcher 3 Nuten 2d und 2e auf. Der Unterschied zu dem vorher beschriebenen Beispiel besteht darin, daß die Nuten Durchbrüche bilden. Die geringe Materialstärke im Bereich der Löcher 3 wird durch ein separates Bauteil in Form einer dünnen Metallfolie 9 gebildet. Die Löcher 3 können vor dem Aufbringen der Metallfolie 9 auf den Lagerkörper 1 durch Laserstrahlbohren eingebracht werden, oder nach erfolgter Verbindung beider Körper 1 und 9. Dieses Ausführungsbeispiel hat den Vorteil, daß der Lagerkörper 1 selbst nur relativ grob bearbeitet werden muß, er kann beispielsweise ein Gußteil oder ein Sinterkörper sein.

Die Erfindung ist auch bei Linearlagern mit Erfolg einsetzbar.

Patentansprüche

1. Aerostatisches Lager mit mehreren Mikrolöchern (3) als Düsen, wobei der Bereich unmittelbar um die Mikrolöcher (3) eine dünne Materialstärke aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikrolöcher (3) in diesem dünnen Bereich mittels eines Laserstrahls von der Rückseite (4a, 4b) der Lagerfläche (5a, 5b, 5c) her eingebracht sind und einen kegeligen Querschnitt aufweisen, wobei der engste Querschnitt unmittelbar an der Lagerfläche (5a, 5b, 5c) liegt.
2. Aerostatisches Lager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikrolöcher (3) in den Lagerkörper (1) eingebracht sind, wobei der Lagerkörper (1) in unmittelbarer Umgebung der Mikrolöcher (3) eine gezielte Materialschwächung aufweist.
3. Aerostatisches Lager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikrolöcher (3) in ein separates dünnes Bauteil (9) eingebracht sind, wobei dieses Bauteil (9) eine Lagerfläche (5c) bildet und mit einem Lagerkörper (1) verbunden ist, der Öffnungen (2d, 2e) zur Speisung der Düsen aufweist, die einen größeren Querschnitt als die Mikrolöcher (3) besitzen.

4. Aerostatisches Lager nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das dünne Bauteil eine Metallfolie (9) ist.

5. Aerostatisches Lager nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Luftzufuhr zu den Löchern (3) von der Seite (3a) mit dem größten Durchmesser erfolgt, und daß die Löcher (3) auf dieser Seite (3a) einen die Länge der Löcher verlängernden Grat (3b) aufweisen.

6. Verfahren zum Herstellen eines aerostatischen Lagers mit mehreren Mikrolöchern (3) als Düsen, dadurch gekennzeichnet, daß die Materialstärke (d) im Bereich der Mikrolöcher (3) derart dünn ausgeführt ist, daß die Mikrolöcher (3) in diesem Bereich mittels eines Laserstrahls von der Rückseite (4a, 4b) der Lagerfläche (5a, 5b, 5c) eingebracht werden, und daß die Lagerfläche (5a, 5b, 5c) vor dem Einbringen der Löcher (3) auf die erforderliche Form- und Oberflächentoleranz bearbeitet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Impulsführung und damit die Energiezufuhr des Laserstrahls so gesteuert wird, daß die Mikrolöcher (3) kegelig geformt sind, und daß jeweils am Locheintritt (3a) ein hoher Grat (3b) zur Verlängerung der Drosselstelle und damit zur Verringerung von Strömungsturbulenzen entsteht und am Lochaustritt (3c) ein Grat zur Vermeidung einer Nachbearbeitung verhindert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der engste Lochquerschnitt dadurch gesteuert wird, daß über einen Sensor auf der Seite der Lagerfläche (5a, 5b, 5c) das Auftreffen des Laserstrahls erfaßt wird und der Bohrprozeß insbesondere durch das Abschatten des Laserstrahls beim Erreichen eines vorgewählten Schwellwertes gezielt abgebrochen wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

X
FIG. 2

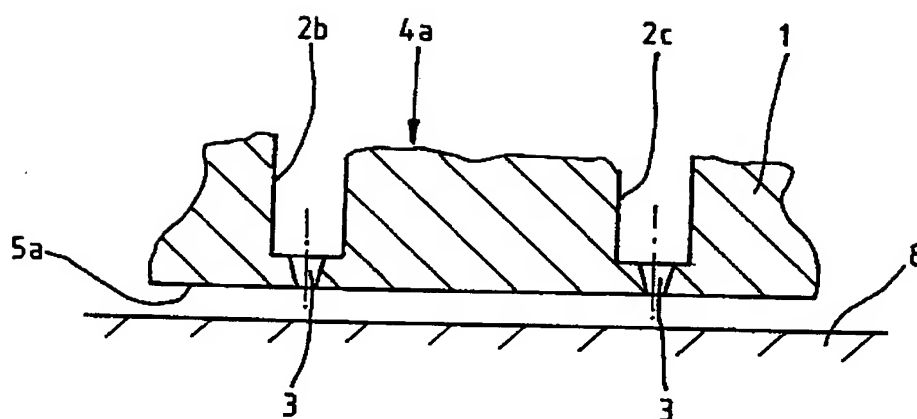


FIG. 3

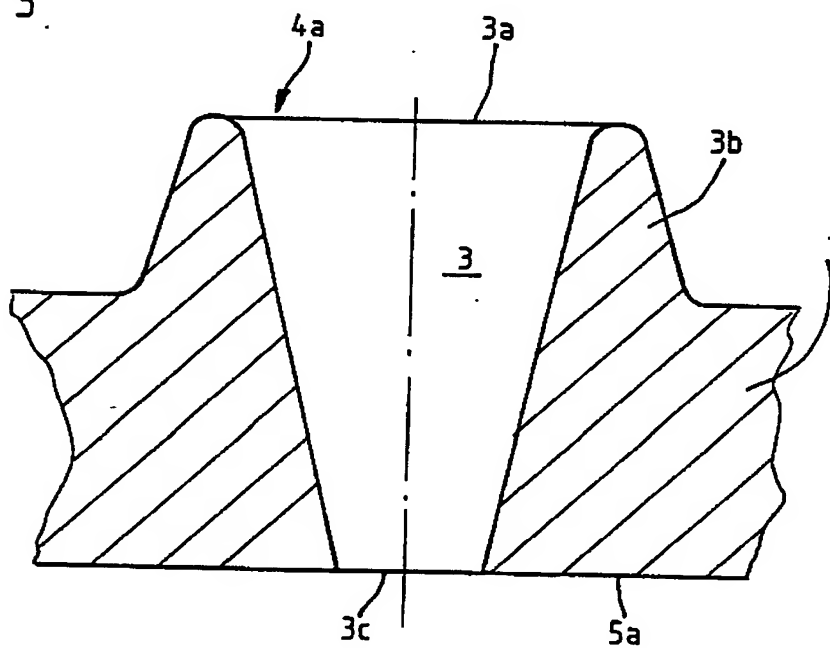


FIG. 1

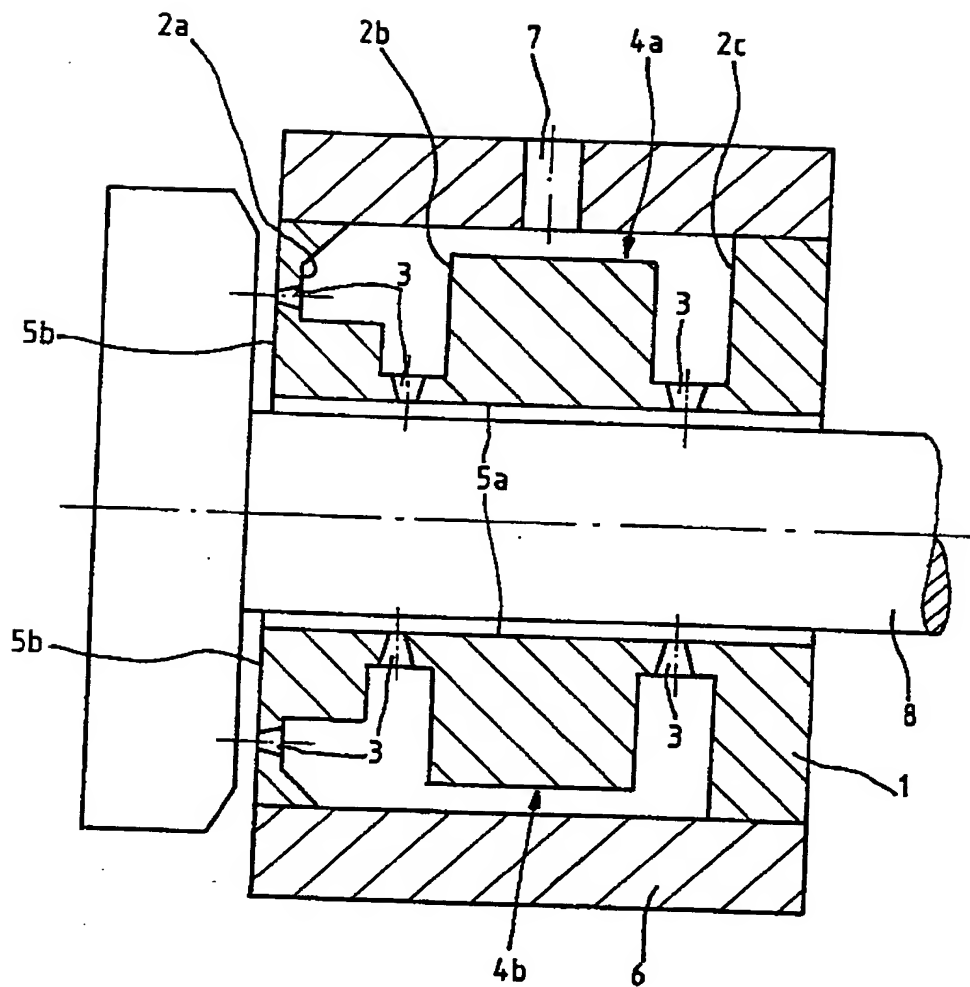


FIG. 4

